TRAVAUX PRATIQUES DE VIBRATIONS ET ONDES

PREPARATION

Le polycopié est à lire attentivement avant les séances. ***Certains sujets comportent une étude préparatoire (partie A) qui doit être rédigée avant la séance de travaux pratiques.*** La seconde partie de chaque sujet doit également être lue attentivement avant le TP. Il est vivement conseillé de venir en séance de TP avec les notes de cours/TD.

COMMENT VENIR

Les TP commencent à 9h précise.

Ils se déroulent sur le Campus de ***Saint-Cyr-l'Ecole.***

POINT GPS : 48°48'12.11" Nord 02°04'31.21" Est

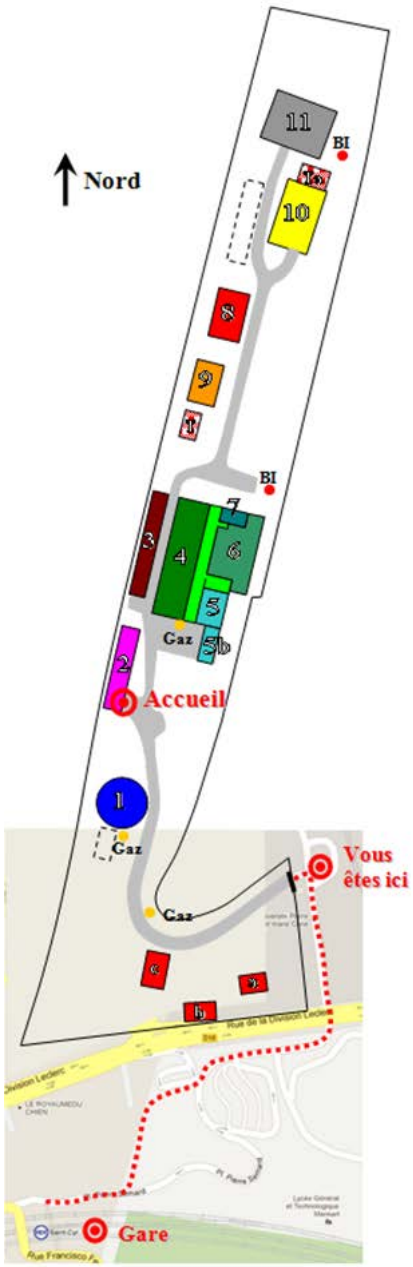
TRAINS DIRECTS depuis:

- La gare MONTPARNASSE (SNCF) : ~30 min
- La gare d'AUSTERLITZ (RER C): ~45 min
- La gare de la DEFENSE (SNCF): ~30 min

DE LA GARE DE ST-CYR AU CAMPUS - UPMC:

Il faut 10 minutes environ pour aller à pieds de la gare de St-Cyr au Campus -UPMC

- En sortant de la gare prendre à droite
- Descendre les escaliers sur la gauche et longer le mur jusqu'à la N10 (200 m)
- Traverser la N10 et prendre à droite jusqu'au prochain croisement (150 m)
- Tourner à gauche et descendre la route
- L'entrée du Campus (Institut d'Alembert) est à 150 m sur la gauche
- La salle de TP se trouve dans le **bâtiment 10 - Vichnievski**.



NUMERO DE TELEPHONE DES TPS :

01 30 85 48 34 ou 01 30 85 48 64/65

INFORMATIONS ET CONSIGNES DIVERSES :

Pendant la pause de midi, en l'absence des enseignants, les plateaux TP sont interdits aux étudiants.

Une **salle de détente** est mise à disposition des étudiants au **bâtiment 5b**. Elle est équipée d'une kitchenette et d'un four à micro-ondes. Il est conseillé aux étudiants d'apporter leur déjeuner (Salades, sandwiches, plats à réchauffer).

SOMMAIRE & PROGRAMME

Sommaire

Vibrations Longitudinales et transverses de poutres droites 3
Analyse modale 4
Etude de L'absorbeur dynamique accordé 5
Modèle de Batiment à 4 étages 7
Mesure de coefficient d'absorption en tube de Kundt 8

Programme

Les expériences se déroulent sur 2 jours :

- Une journée ***"Systèmes discrets et Ondes"***:
  - *Demi journée A* : Etude de l'absorbeur dynamique accordé (4h)
  - *Demi journée B* : Bâtiment à 4 étages (2h) – Mesure d'absorption (2h)

- Une journée ***"Systèmes continus"***:
  - *Demi journée C* : Etude des vibrations de poutres droites (4h)
  - *Demi journée D* : Analyse modale : plaque & modèle réduit de planeur (4h)

Remarques

- *Il n'est pas possible de déterminer à l'avance l'ordre des jours et demis journées pour chaque groupe. (1ers arrivés = 1ers servis)*
- *Avant la première séance Il faut donc lire le polycopié entièrement et préparer les parties devant l'être.*
- *Les comptes rendus sont à remettre à la fin de chaque demi-journée.*
- *On rappelle que ces travaux pratiques et les 4h de TP numériques associés aux ondes valent pour 30% de l'évaluation du module, et ne sont donc pas à négliger.*

VIBRATIONS LONGITUDINALES ET TRANSVERSES DE POUTRES DROITES

On dispose de poutres droites en divers matériaux et de plusieurs éléments pour constituer des conditions d'appui variées : encastrement, appui simple, bord libre.

A. Etude théorique préparatoire (partie à rédiger avant la séance)

A.1. Ondes longitudinales

A.1.1 Rappeler l'expression des fréquences propres d'une poutre de longueur *L* à bords libres en fonction de ses dimensions et des caractéristiques du matériau.

A.2. Ondes transverses

A.2.1. Rappeler les expressions théoriques des fréquences propres de vibration transverse d'une poutre, pour deux couples de conditions aux limites :

- Appui simple - appui simple
- Encastrement - Bord libre

A.2.2. Déterminer les deux premières fréquences propres d'une poutre encastrée – libre à l'aide de la méthode approchée de Rayleigh-Ritz

B. Etude expérimentale (à lire avant la séance, à réaliser sur place)

On dispose de poutres droites en divers matériaux et de plusieurs éléments pour constituer des conditions d'appui variées : encastrement, appui simple, bord libre.

B.1. Banc d'essais

B.1.1. Mesurer les dimensions des différentes poutres à votre disposition.

B.1.2. Expliquer comment réaliser approximativement la condition de bord libre.

B.2. Ondes longitudinales

B.2.1. En utilisant le marteau d'impact, masse additionnelle ôtée et muni d'un embout en plastique raide, pour une poutre donnée, déterminer expérimentalement la vitesse de propagation C_L des ondes longitudinales.

B.3. Ondes transverses

B.3.1. Calculer les fréquences propres théoriques des différentes poutres pour les deux couples de conditions aux limites de l'étude préparatoire (A.2).

B.3.2. Calculer les deux premières fréquences propres des poutres en conditions encastrée – libre par la méthode approchée de Rayleigh-Ritz.

Vibrations libres

Pour l'étude des poutres en vibrations libres, on utilise un marteau d'impact équipé d'un capteur de force et deux accéléromètres. Le marteau d'impact est équipé d'une masse additionnelle et d'un embout mou.

Pour les diverses poutres et les différentes conditions aux limites :

B.3.3. Mesurer la réponse en fréquence de la poutre.

B.3.4. Relever les fréquences de résonance et évaluer les coefficients d'amortissement associés.

B.3.5. En étudiant la phase de la fonction de transfert pour différentes position des accéléromètres, déterminer les déformées modales.

B.3.6. Pour les conditions aux limites appui simple – appui simple et encastrement – bord libre comparer les fréquences propres mesurées aux fréquences théoriques (méthode « exacte »)

B.3.7. Dans les conditions encastrée – libre, comparer les fréquences propres mesurées à celles calculées par la méthode approchée de Rayleigh-Ritz.

B.3.8. Pour l'une des configurations, ajouter une masse ponctuelle sur la structure. Mesurer et commenter la variation des premières fréquences propres pour diverses positions de la masse.

Vibrations forcées

Pour les vibrations forcées harmonique on utilise un pot vibrant alimenté par un générateur de signaux et par l'intermédiaire d'un amplificateur *(Niveau maximum d'alimentation de l'ampli : 1.5V)*

En utilisant le pot vibrant équipé d'un élastique, appliquer une excitation harmonique en des points judicieusement choisis.

On utilisera comme capteurs l'œil, le doigt et l'oreille pour des évaluations grossières et des accéléromètres pour des mesures plus précises.

B.3.9. Mettre en évidence les 3 premiers modes propres. Commentez vos résultats.

ANALYSE MODALE EXPERIMENTALE

OBJECTIFS

On cherche à caractériser le comportement dynamique de structures. Les deux systèmes choisis sont une plaque mince carrée dont on étudie les vibrations en flexion, et un modèle réduit de planeur.
Cette étude expérimentale a deux objectifs :

- Familiariser les manipulateurs à quelques techniques d'analyse des structures : manipulation des capteurs et mesure de réponses impulsionnelles et de réponses en fréquence, analyse et interprétation des réponses en fréquence.
- A partir de la mesure d'un ensemble de fonctions de réponse en fréquences (FRF), extraire les propriétés modales de la structure.

PROCEDURE EXPERIMENTALE

L'excitation est une impulsion réalisée à l'aide d'un marteau d'impact. Un capteur de force piézoélectrique placé sur la tête du marteau, permet de mesurer l'effort appliqué en chaque point d'un maillage prédéterminé.
La réponse de la structure est mesurée par un accéléromètre, en un seul point judicieusement choisi.
La plaque est suspendue sur des supports en mousse. Le planeur est suspendu par des élastiques souples.
Ces dispositifs permettent d'approcher les conditions aux limites à bords libres.
On excite la structure successivement aux différents nœuds du maillage.
L'analyse modale comprend deux étapes :

- acquérir une colonne de la matrice des FRF.
- extraire les paramètres modaux.

TRAVAIL DEMANDE :

1.) Montage - Chaîne d'acquisition

1.1. Décrire le montage (Système + chaîne d'acquisition)
1.2. A quelle condition l'hypothèse de bords libres est-elle acceptable ?
1.3. Quel intérêt présente l'utilisation d'un coup de marteau ?

Sous Matlab, taper la commande 'Mesure_plaque', ou 'Mesure_Planeur', et suivre les instructions données par le programme.

Enregistrer vos mesure dans un fichier 'Nom1_Nom2_Nom3.mdn'.

2.) Analyse Modale à l'aide du logiciel 'MODAN'

(Un mode d'emploi est disponible sur place)

- Lancer MODAN et charger le fichier de mesure.
- Etudier les différentes sections de l'interface.

2.1. Quelles informations fournit une FRF ?
2.2. Comment peut-on déterminer la contribution d'une fréquence au mouvement d'un point ?
2.3. Comparer les pics de résonance obtenus pour différentes FRF. Comment explique-t-on la disparition de certaines résonances en certains points ?
2.4. Donner une représentation schématique des modes propres.
2.5. Commenter

ETUDE DE L'ABSORBEUR DYNAMIQUE ACCORDE

A. Etude théorique préparatoire (partie à rédiger avant la séance)

A.1. Immeuble à un étage

On considère le modèle d'un bâtiment constitué d'un solide indéformable de masse m_1 et de deux lames identiques, de masse négligeable devant m_1 (figure *1a*).
Tous les encastrements sont supposés parfaits et les sollicitations extérieures sont représentées par un effort *F(t)* dirigé suivant l'axe *x*.

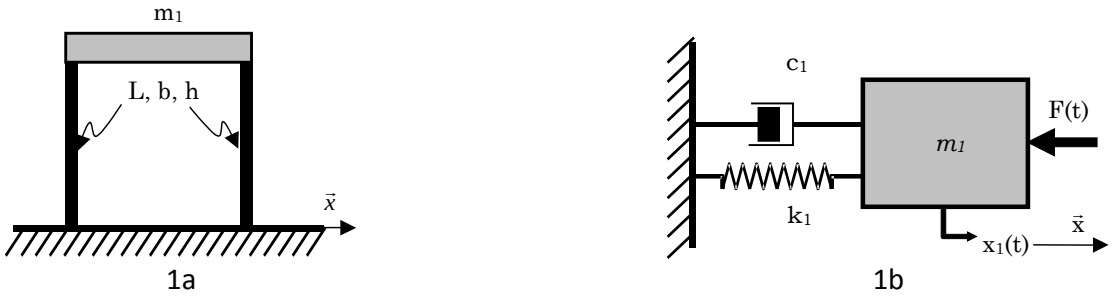


Figure 1

Pour la bande de fréquence étudiée, le système se comporte comme un système à un degré de liberté schématisé sur la figure *1b* ($x_1(t)$ représente le déplacement de m_1).

Etude du mouvement libre

A.1.1. Rappeler l'expression de la réponse transitoire $x_1(t)$ d'un système vibrant à un degré de liberté dans le cas sous-amorti.

A.1.2. Rappeler l'expression de la réponse en fréquence de ce même système.

A.1.3. Rappeler l'expression de la fréquence propre naturelle de ce système.

A.1.4. En fonction des caractéristiques dynamiques du système (masse, raideur, amortissement), définir et rappeler les expressions théoriques de :

- la pseudo période
- le décrément logarithmique
- le facteur de qualité
- la largeur à -3dB

Etude du mouvement forcé

Le système est excité à sa base par une force harmonique de direction *x*.

A.1.5. Rappeler l'expression de la fréquence de résonance d'accélération du système.

A.1.6. Comment peut-on déterminer l'amortissement du système à partir du déphasage entre les signaux temporels de l'accélération de la masse m_1 et de la force injectée au système.

A.2. Immeuble muni de l'absorbeur dynamique

Afin de limiter les déplacements de m_1 à la résonance, on lui adjoindra un mobile secondaire dit absorbeur de vibrations et constitué d'un système masse-ressort (m_2, k_2).

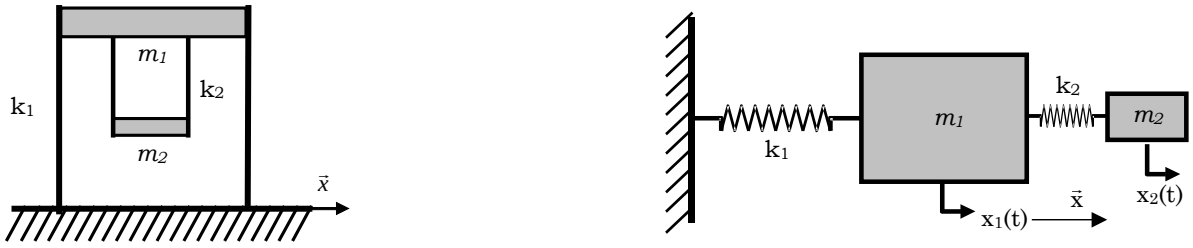


Figure 2

A.2.1. Dans le cas où on néglige l'amortissement, rappeler les expressions des fonctions de réponse en fréquence de l'immeuble et de l'absorbeur par rapport à la force appliquée : H1 = Γ1/F et H2 = Γ2/F. Où Γ1 et Γ2 sont les accélérations respectives des deux mobiles.

A.2.2. On souhaite accorder l'absorbeur de manière à étouffer la résonance de l'immeuble. Quelle relation doit respecter la raideur k2 de l'immeuble ?

B. Etude expérimentale (à lire avant la séance, à réaliser pendant la séance)

B1. Immeuble à un étage

Etude du mouvement libre

Les caractéristiques du portique sont les suivantes :

Matériau de la masse mobile : Acier : Masse volumique ρ = 7840 kg/m^3 ; Module d'Young E = 2. 10^{11} Pa

Dimensions des lames : Longueur : L ; Largeur : b ; Epaisseur : h

On rappelle que la raideur d'une poutre bi-encastrée en flexion est donnée par : $k = Eb\left(\frac{h}{L}\right)^2$

B.1.1. Après avoir mesuré les dimensions utiles avec une précision suffisante, déterminer la raideur k1 et la masse m1 théoriques du système. En déduire la fréquence propre (non amortie) théorique de ce système.

B.1.2. Pour mesurer la réponse impulsionnelle du système, on utilise :

- un marteau équipé d'un capteur d'effort qui mesure la force impulsive appliquée
- un accéléromètre uniaxial qui mesure l'accélération de la masse m_1.

Décrire et commenter le montage mis en œuvre pour l'étude dynamique de la structure.

B.1.3. Décrire et commenter l'allure des courbes obtenues dans le domaine temporel.

B.1.4. A partir de l'étude de la réponse temporelle du système, déterminer les caractéristiques dynamiques du système (fréquence propre naturelle, taux d'amortissement).

B.1.5. Décrire et commenter l'allure des spectres de la force appliquée et celle de la réponse de la structure. Comment est obtenue la réponse en fréquence du système ?

B.1.6. A partir de l'étude de la réponse en fréquence du système, déterminer les paramètres dynamiques du système.

B.1.7. Relever sur l'amplitude de la fonction de transfert à la fréquence propre du système.

B.1.8. Comparer les valeurs de taux d'amortissement obtenues à partir des réponses temporelle et fréquentielle du système. Proposer des explications aux éventuelles différences obtenues.

B.1.9. Comparer les valeurs de la fréquence propre obtenues théoriquement et à partir des réponses temporelles et fréquentielle. Proposer des explications aux éventuelles différences obtenues.

Etude du mouvement forcé

Pour observer la réponse permanente, on utilise un pot vibrant ou excitateur dynamique dont on peut contrôler la fréquence et l'amplitude de la force harmonique qu'il applique. En modifiant les paramètres du signal d'excitation :

B.1.10. Mettre en évidence la résonance du système.

B.1.11. Evaluer le taux d'amortissement par une mesure de déphasage.

B2. Immeuble muni de l'absorbeur

On adjoint au système initial un mobile secondaire dit absorbeur de vibrations et constitué d'un système masse-ressort dont la masse est d'environ 0,2 kg et la raideur ajustable.

Réponse transitoire

On étudie dans un premier temps la réponse transitoire du nouveau système.

B.2.1. Décrire et commenter l'allure des courbes obtenues.

B.2.2. A quelle position verticale l'absorbeur est-il efficace ?

On se propose à présent d'étudier la réponse du système accordé.

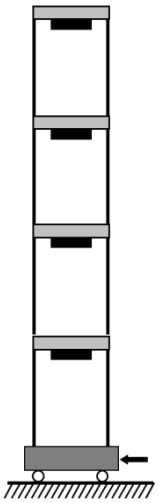
B.2.3. Mesurer les nouvelles fréquences propres du système et l'amplitude de la fonction de transfert H_1 aux fréquences propres et à l'anti résonance. Commenter.

Réponse harmonique

B.2.4. A l'aide de l'excitation harmonique, mettre en évidence les nouvelles résonances. Mesurer et décrire les modes propres.

MODELE DE BATIMENT A 4 ETAGES

A. Etude préparatoire - Modélisation (partie à rédiger avant la séance)



On se propose d'étudier un modèle de bâtiment à 4 étages comme représenté par la figure ci-contre. Le système monté sur un bâti mobile sera étudié en mouvement forcé harmonique ou large bande. Les masses mobiles sont supposées de masse identique *M*. Chaque masse est reliée à l'étage inférieur (masse ou bâti) par quatre lames parallèles dont on négligera la masse devant *M* et que l'on suppose de raideur *k* identique pour toutes les lames.

A.1. Donner l'expression de la raideur équivalente k_{eq} reliant deux étages successifs en fonction de *k*.

A.2. Déterminer les matrices de masse *[M]* et de raideur *[K]* du système en fonction de *M* et de k_{eq}.

A.*3.* Expliquer comment les modes propres (fréquences et vecteurs propres) pourront être déterminés numériquement à partir de la connaissance des matrices de masse et de raideur du système.

A. Etude expérimentale et numérique (à lire avant la séance, à réaliser sur place)

B.1 Etude numérique

B.1.1. Mesurer les dimensions des éléments du modèle et en déduire les caractéristiques élémentaires approchées de masse (*M*) et de raideur (k_{eq}).
Les éléments mobiles sont en Dural (ρ = 2500 kg/m^3).
Les accéléromètres équipés de leur connecteur ont une masse de 80g environ.
Les tiges sont en acier (E = 220 GPa)

On rappelle que la raideur d'une poutre bi-encastrée en flexion est donnée par : $k = aEb\left(\frac{h}{L}\right)^2$

Avec : Longueur : *L* , Largeur : *b* , Epaisseur : *h*.
a est le facteur de qualité d'encastrement, il vaut 1 pour un encastrement parfait.

B.1.2. Déterminer numériquement, à l'aide du programme fourni, les modes propres du système en prenant *a=1*.

B2. Etude expérimentale

Le système monté sur un bâti mobile sera étudié en mouvement forcé harmonique ou large bande. Il est excité sur sa base par un pot vibrant. Chaque masse mobile est équipée d'un accéléromètre, on relève également le signal délivré par le pot vibrant.

Excitation large bande

Pour cette partie on utilise un analyseur de spectre, qui délivre au pot vibrant un bruit blanc ***dont on veillera à limiter l'amplitude***. L'analyseur de spectres est également utilisé pour relever et analyser les signaux délivrés par les accéléromètres et le pot vibrant.

B.2.1. Relever successivement les fonctions de transfert entre les 4 accéléromètres et le signal délivré au pot. Tracer l'allure de ces fonctions en amplitude et en phase. Commentez ces tracés.
Sur chaque fonction de transfert relever la fréquence, le niveau (et l'allure de la phase) aux résonances.

B.2.2. En déduire les modes propres expérimentaux.

B.2.3. En comparant les fréquences propres théoriques et expérimentales, en déduire des valeurs pour le facteur de qualité *a*.

Excitation harmonique

Dans cette partie, on utilise un générateur de fonctions qui délivre au pot vibrant un signal harmonique.
Les accélérations des mobiles sont relevées à l'oscilloscope et on se place successivement sur les fréquences de résonance.

On veillera à limiter l'amplitude des signaux envoyés au pot vibrant par l'intermédiaire de l'amplificateur.

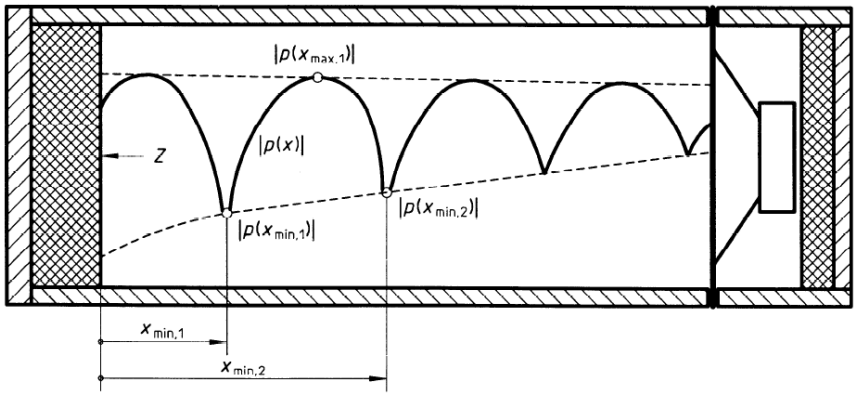
B.2.4. Pour chaque fréquence de résonance, relever les amplitudes et phases relatives de 4 étages.

B.2.5. Vérifier les modes propres obtenus en excitation large bande.

B.2.6. Comparez les vecteurs propres expérimentaux et numériques. Commentez.

MESURE DE COEFFICIENT D'ABSORPTION EN TUBE DE KUNDT

Un tube d'impédance (ou tube de Kundt) est un dispositif expérimental couramment utilisé pour caractériser les qualités d'absorption acoustique de matériaux, utilisés par exemple pour l'isolation acoustique.
Les mesures d'absorption, de réflexion, d'impédance et de perte par transmission dans ce type de tube se référant à des normes (ISO 10534-1 et 2) qui définissent un protocole expérimental précis. La méthode utilisée lors de ce TP est la méthode dite « harmonique » ou du « taux d'ondes stationnaires ». Vous pourrez consulter sur place la norme correspondante (ISO 10534-1).
Un échantillon du matériau à tester est monté à l'une des extrémités d'un tube rectiligne, rigide, lisse et étanche. Une onde acoustique incidente p_i est produite par un haut parleur placé à l'autre extrémité du tube. Une onde réfléchie p_r est renvoyée par l'échantillon. La superposition des deux ondes produit une onde stationnaire dans le tube, caractérisée par des maxima et minima d'amplitude de pression. Un microphone mobile à l'intérieur du tube permet de mesurer le champ de pression stationnaire en chaque section du tube. Le facteur d'absorption et les grandeurs associées sont fonction des positions et niveau de ces extrema.



A. Etude expérimentale (à lire avant la séance, à réaliser sur place)

Le TP a pour objectif de mesurer des coefficients d'absorption acoustique en incidence normale de quelques matériaux. Vous disposez d'un tube muni d'un micro mobile dont on peut mesurer la position, de quelques échantillons de matériaux à caractériser, du programme Matlab "*TP_Kundt.m*" qui donne la pression mesurée par le micro..

Mesures préliminaires

- ***B.1.*** A partir des dimensions du tube, déterminer la bande de fréquence théorique sur laquelle le tube est utilisable
- ***B.2.*** En configuration fond rigide, déterminer la vitesse de propagation du son c_0, pour les fréquences 63, 500 et 2000 Hz
- ***B.3.*** En configuration fond rigide, relever le profil du niveau de pression le long du tube pour les fréquences 500Hz, 1000Hz et 5000Hz (vous pourrez pour cela vous contenter de relever les positions et niveaux des extrema successifs le long du tube). Commentez (vous pouvez pour cela vous aider de l'annexe B de la norme ISO 10534-1).
- ***B.4.*** En configuration tube ouvert, mesurer le profil de pression acoustique sur la première longueur d'onde à partir de l'extrémité ouverte du tube à 500 Hz (prendre environ 10 mesures). Commenter.

Mesure de coefficient d'absorption

- ***B.5.*** En vous aidant de la norme fournie, indiquer comment est obtenu le coefficient d'absorption d'un échantillon à une fréquence de mesure *f* choisie.
- ***B.6.*** Mesurer le coefficient d'absorption des échantillons suivant pour les fréquences : 63, 125, 250, 500, 1000 et 2000 Hz : Tube fermé sans échantillon (matériau rigide), Mousse de polystyrène, Mousse souple, Laine de roche
- ***B.7.*** Tracer sur un même graphe les coefficients d'absorption des différents échantillons en fonction de la fréquence. Commentez vos résultats.